

STUDI TEKNIS KELAYAKAN PEMILIHAN PEMBERAT PIPA SEBAGAI METODE *ANTI BUOYANCY RIVER CROSSING PIPELINE* PADA JALUR DISTRIBUSI *NATURAL GAS*

Pramudhyia Bagas Kuncoro.^{1*}, Heroe Poernomo², M. Choirul Rizal³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia^{1*}

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia²

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia³

Email: pramudhyiabagaskuncoro@gmail.com^{1*}; heroe_p@na.its.ac.id^{2*};

mochammadchoirulrizal@yahoo.com^{3*};

Abstrak

Pada jalur distribusi *natural gas*, jalur pipa harus melewati sungai (*river crossing pipeline*). Pipa yang terpendam di sungai harus memenuhi kriteria nilai *negative buoyancy* yang ditentukan oleh klien sebesar 10%. Pada desain awal sesuai permintaan klien, *continous concrete weight* digunakan untuk mengatasi *buoyancy* yang terjadi. Akan tetapi pada saat konstruksi pihak kontraktor menggunakan *set-on saddle weight* untuk mengoptimalkan waktu pengerjaan dan efisiensi biaya. Analisa teknis dan ekonomis dilakukan dari metode *continous concrete weight* dan *set-on saddle weight*, serta metode alternatif yang ditawarkan yaitu *geo-textile fabric weight*. Perhitungan manual dilakukan untuk mengetahui *primary and secondary stress* sedangkan analisisnya menggunakan *software* untuk mengetahui efek yang ditimbulkan akibat beban tambahan dari pemberat pada pipa. Hasil perhitungan tegangan pipa secara manual dan secara *software* dari ketiga metode anti *buoyancy* tersebut masih berada pada batas aman yang diijinkan oleh standard ASME B31.8. Metode yang paling efisien dari segi teknis dan ekonomis adalah metode *geotextile fabric weight* dengan hasil perhitungan manual tegangan total *longitudinal* efektif sebesar 4762,594 psi. Hasil perhitungan tegangan menggunakan *software* sebesar 6876,12 psi. Sedangkan jumlah biaya instalasi yang harus dikeluarkan untuk metode tersebut adalah Rp.222,420,485. Jumlah unit yang digunakan adalah dua unit *geotextile fabric weight*.

Kata kunci : *Buoyancy*, metode *anti-buoyancy*, *natural gas*, *primary and secondary stress*, *river crossing pipeline*.

1. PENDAHULUAN

Jalur pipa distribusi *natural gas* pada KP 0+100 harus melewati sungai (*river crossing pipeline*). Pipa yang terpendam di sungai harus memenuhi kriteria nilai *negative buoyancy* yang ditentukan oleh klien sebesar 10%. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menangani *buoyancy*. Metode awal yang disarankan oleh klien adalah *continuous concrete weight*, metode yang digunakan oleh kontraktor adalah *set on saddle weight*, dan metode alternatif adalah *geo textile fabric weight*. Penelitian ini akan menganalisa nilai *buoyancy* yang terjadi dari ketiga metode tersebut. Tegangan *primary* dan *secondary* diperhitungkan untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi akibat penambahan pemberat pada pipa. Nilai tegangan yang terjadi harus memenuhi batas nilai yang diijinkan oleh ASME B31.8. Analisa

akibat penambahan pemberat juga dilakukan menggunakan *software CAESAR II*. Perhitungan biaya instalasi dari ketiga metode tersebut dilakukan untuk mendapatkan perbandingan biaya yang lebih ekonomis dari ketiga metode tersebut.

2. METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Desain *pipeline* distribusi *natural gas* menggunakan pipa 16 inchi material API 5L grade X46 dengan desain temperatur 129,2 °F dan desain *pressure* 684 psi yang mengalirkan fluida *natural gas*. Analisa nilai *buoyancy* dilakukan dari ketiga metode tersebut. Analisa tegangan *primary*, *secondary*, serta menggunakan *software CAESAR II* dilakukan untuk memastikan *pipeline* yang menerima beban tambahan dari pemberat dapat

beroperasi dengan aman. Analisa biaya instalasi dari ketiga metode *anti buoyancy* juga dilakukan untuk mengetahui perbandingan biaya yang lebih ekonomis dari ketiga metode tersebut.

2.2. Buoyancy

Perhitungan buoyancy dilakukan untuk mendapatkan nilai buoyancy yang dialami oleh pipa. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor* yang terjadi. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor buoyancy* adalah sebagai berikut :

- **Safety Factor Buoyancy**

$$\text{Safety Factor (SF)} = \frac{\text{Down Force}}{\text{Up Force}} = \frac{W_T}{F_B} = \frac{(W_{eff} + W_{Total})}{F_B} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (1) menunjukkan persamaan perhitungan untuk mendapatkan nilai *safety factor buoyancy*. Nilai *safety factor* minimal yang diijinkan adalah 1,1. Dimana $F_{b_{pipe}}$ merupakan berat air yang tergantikan atau nilai buoyancy (kg/m), W_{total} merupakan berat total pipa (kg/m), W_{eff} merupakan berat efektif pipa (kg/m), dan SF merupakan *safety factor buoyancy* (1,1).

2.3. Metode Anti Buoyancy

Terdapat tiga metode *anti buoyancy* yang digunakan untuk menangani buoyancy yang terjadi. Ketiga metode tersebut harus memenuhi *safety factor* yang diminta yaitu sebesar 1,1 atau nilai *negative buoyancy* 10% agar pipa tidak mengalami buoyancy.

2.3.1. Concrete Weight Coating

- **Berat Concrete Weight Coating**

$$W_{conc} = \frac{\pi}{4} (OD_{conc}^2 - ID_{conc}^2) \times \rho_{concrete} \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (2), menunjukkan persamaan perhitungan nilai berat *concrete weight coating* persatuan panjang. Dimana $W_{concrete}$ merupakan berat *concrete* persatuan panjang (kg/m), OD_{conc} merupakan diameter luar *concrete* (m), ID_{conc} merupakan diameter dalam *concrete* (m), $\rho_{concrete}$ merupakan massa jenis *concrete* (kg/m³).

2.3.2. Set On Saddle Weight (SOSW) dan Geotextile Fabric Weight (GFW)

Perhitungan untuk berat *set-on saddle weight* dan *geotextile fabric weight* yang cukup untuk memenuhi nilai *negative buoyancy* sebesar 10%.

Perbedaan perhitungan antara 2 metode tersebut terletak pada massa jenis pemberat yang digunakan. Persamaan dasar yang dapat digunakan adalah sebagai berikut (Connors, 2004)

- **Total Weight Required**

$$TWR = [(F_B - (W_{pipe}))] \times (1 + \text{Negative buoyancy}) \dots\dots\dots(3)$$

- **Weight Submerged**

$$W = V \times (\rho_{pemberat} - \rho_{water}) \dots\dots\dots(4)$$

- **Spacing Or Span**

$$\text{Spacing} = \frac{W}{TWR} \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan (3), (4), dan (5) menunjukkan persamaan perhitungan nilai massa pemberat yang dibutuhkan serta jarak peletakkannya. Dimana TWR merupakan berat yang dibutuhkan untuk memenuhi nilai *negative buoyancy* persatuan panjang (kg/m), $F_{b_{pipe}}$ merupakan berat air yang tergantikan atau nilai buoyancy (kg/m), W_{pipe} merupakan berat pipa persatuan panjang (kg/m) dimana $\rho_{pemberat}$ merupakan massa jenis pemberat (kg/m³). ρ_{water} merupakan massa jenis air (kg/m³). V merupakan volume pipa (m³). dan W merupakan berat pemberat yang terendam (kg).

2.4. Primary Stress

Primary stress merupakan resultan gaya internal yang dapat menyebabkan perubahan ukuran atau bentuk pada pipa. Tegangan ini diakibatkan oleh tekanan internal fluida, berdasarkan ASME B31.8 *Gas Transmission and Distribution Piping System* terbagi menjadi :

2.4.1. Longitudinal Stress Restrained Pipe

$$S_p = 0,3 S_H \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan (6) menunjukkan persamaan *longitudinal stress*. Dimana SP merupakan *longitudinal stress* (psi), SH merupakan *Hoop stress* (psi).

2.4.2. Longitudinal Stress Akibat Expansion Thermal

$$S_T = E_a (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(7)$$

Persamaan (7) menunjukkan persamaan *longitudinal stress* akibat *ekspansi thermal*. Dimana ST merupakan *thermal expansion stress* (psi), E merupakan modulus elastisitas pipa (psi), α merupakan koefisien ekspansi termal. T1

merupakan temperatur instalasi °F, dan T2 merupakan temperatur operasi °F.

2.4.3. Bending Stress

$$S_B = \frac{M_B}{Z} \dots \dots \dots (8)$$

Persamaan (8) menunjukkan persamaan *bending stress*. Dimana S_B merupakan bending stress (psi), M_B merupakan moment bending (lb-in), dan Z merupakan *pipe section modulus* (in³).

2.4.4. Total Longitudinal Stress In Restrained Pipe

$$S_L = S_p + S_T + S_B \dots \dots \dots (9)$$

Persamaan (9) menunjukkan persamaan *total longitudinal stress in restrained pipe*. Dimana S_L merupakan *total longitudinal stress in restrained pipe* (psi), S_p merupakan longitudinal stress restrained pipe (psi), S_T merupakan *expansion thermal stress* (psi), dan S_B merupakan *bending stress* (psi).

2.4.5. Allowable Stress

$$S_L \leq 0,9 S_T \dots \dots \dots (10)$$

Persamaan (10) menunjukkan persamaan *allowable stress* yang diijinkan oleh ASME B31.8. Dimana S_L merupakan *longitudinal stress in restrained pipe* (psi), S merupakan *specified minimum yield strength* (psi), dan T merupakan *temperature derating factor* (psi).

2.5. Secondary Stress

Secondary stress merupakan tegangan yang timbul pada dinding pipa disebabkan oleh beban selain tekanan internal fluida, misalnya karena beban *backfill* (urukan), dan beban dari pemberat pipa.

2.5.1. Ovality

Concrete Weight Coating		
Paramater	Nilai	
W_{Total}	296,98	kg/m
$F_{buoyancy}$	131.963	kg/m
$W_{Effective}$	117,92	kg/m
<i>Safety Factor (1,1)</i>	2,32	

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{D_1 K P}{\frac{(EI)}{R^3} + 0.061 x E'} \dots \dots \dots (11)$$

Persamaan (11) menunjukkan persamaan prediksi *ovality* yang terjadi akibat beban eksternal berupa beban tanah dan pemberat. Dimana Δy merupakan *Vertical deflection* pipa (in), D merupakan diameter

luar pipa (in), D_1 merupakan *deflection lag factor* (1.0-1.5), K merupakan konstanta *bending* (0.1), P merupakan tekanan pada pipa akibat beban tanah + *pipe weighting* (psi), R merupakan radius pipa (in), E merupakan modulus *young* pipa (psi), I merupakan inersia dinding pipa (in³), dan E' merupakan *modulus of soil reaction* (psi).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Buoyancy

Perhitungan *safety factor buoyancy* pada pipa sebelum menerima beban tambahan ditentukan dengan menggunakan persamaan 1. Tabel 3.1 menunjukkan hasil perhitungan *safety factor buoyancy* sebelum pipa menerima beban tambahan dari pemberat. Nilai *buoyancy* dipengaruhi oleh berat keseluruhan pipa.

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan Safety Factor

Buoyancy Calculation		
Paramater	Nilai	
W_{Total}	125.160	kg/m
$F_{buoyancy}$	131.963	kg/m
$W_{Effective}$	-6.803	kg/m
<i>Safety Factor (1,1)</i>	0.897	

3.2. Metode Anti Buoyancy

3.2.1. Concrete Weight Coating

Perhitungan massa *concrete weight coating* digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor buoyancy* menggunakan persamaan 2. Tabel 3.2 menunjukkan hasil perhitungan massa dari *concrete weight coating* yang digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor* setelah pipa menerima beban tambahan dari pemberat.

Tabel 3. 2 Hasil Perhitungan Concrete Weight Coating

3.2.2. Set On Weight dan Geotextile Fabric Weight

Massa pemberat yang dibutuhkan untuk memenuhi nilai *safety factor* sebesar 1,1, serta jarak peletakan antar pemberat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3,4, dan 5. Hasil perhitungan terdapat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Hasil Perhitungan Metode SOW dan GFW

Parameter	Nilai		Unit
	SOW	GFW	
<i>W_Required</i>	7,482	7,482	kg/m
<i>W_Submerged</i>	213,325	213,452	Kg
<i>Spacing</i>	28,510	28,523	M

3.3. Perhitungan Stress

Stress yang terjadi diakibatkan oleh tekanan internal pipa dan eksternal pipa. Hasil perhitungan untuk *primary* dan *secondary stress* didapatkan dari persamaan 6,7,8,9,10, dan 11. Tabel 3.4 merupakan hasil perhitungan untuk *primary stress* dan *secondary stress*.

Tabel 3. 4 Hasil Perhitungan Primary Stress dan Allowable Stress

3.4. Analisa Software CAESAR II

Tabel 3.5 menunjukkan hasil perhitungan analisa tegangan pipa menggunakan software CAESAR II pada 3 metode *anti buoyancy* didapatkan nilai tegangan yang aman dibawah batasan *stress* pada code ASME B31.8.

Tabel 3. 5 Hasil Pemodelan Software CAESAR II

3.5 Rencana Anggaran Biaya Instalasi

Perhitungan rencana anggaran biaya instalasi dilakukan untuk mendapatkan hasil biaya terendah dari ketiga metode *anti buoyancy*. Ketiga metode tersebut adalah *concrete weight coating (cwc)*, *set on saddle weight (sosw)*, dan *geotextile fabric weight (gfw)*. Tabel 3.6 merupakan hasil perhitungan rencana anggaran biaya instalasi.

Tabel 3. 6 Rencana Anggaran Biaya Instalasi

Deskripsi	Metode		
	CWC	SOSW	GFW
Rencana Anggaran Biaya Instalasi (Rp)	328.284.888	254.169.653	222.420.485

1. Nilai *buoyancy* pada *pipeline river crossing*, nilai *safety factor buoyancy* yang terjadi pada kondisi instalasi adalah 0,897. Sehingga pipa membutuhkan pemberat tambahan. Metode yang disarankan klien *concrete weight coating* menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 2,32. Metode yang digunakan kontraktor *set on*
2. *saddle weight* untuk memenuhi nilai *safety factor* 1,1, seharusnya cukup ditambahkan 2 unit *sosw* dengan jarak peletakan 28,52m. Metode alternatif *geotextile fabric weight* untuk memenuhi nilai *safety factor* 1,1 dengan massa *gfw* 367,5 kg cukup ditambahkan 2 unit dengan jarak peletakannya 58,53m.
3. Nilai tegangan pada pipa sebelum ditambahkan pemberat adalah nilai (SP) sebesar 3283,2 psi, nilai (ST) sebesar 1123,2 psi, dan nilai (SB) sebesar 34209,055 psi. Maka, nilai (SL) adalah 38615,455 psi. batas nilai (SL) yang diijinkan oleh ASME B31.8 adalah 41400 psi untuk material API 5L X46 dengan diameter 16 in.
4. Nilai perhitungan manual total tegangan *longitudinal* efektif pada pipa setelah menerima beban tambahan dari pemberat untuk ketiga metode adalah : (a) *cwc* sebesar 5251,021 psi, (b) *sosw* sebesar 4762,594 psi, dan (c) *gfw* sebesar 4762,594 psi. Sementara untuk pemodelan dengan menggunakan software *Caesar II* nilai tegangan untuk ketiga metode adalah : (a) *cwc* sebesar 6989,86 psi, (b)

Metode	SP (psi)	SB (psi)	ST (psi)	SL (psi)	Allowable	Ovality
Tanpa Pemberat	323,82	34209,055	1123,2	38615,455	41400	0,0024
Concrete Weight Coating	3238,2	844,621	1123,2	5251,021	41400	0,0033
Set On Saddle Weight	3238,2	356,194	1123,2	4762,594	41400	0,0024
Geotextile Fabric Weight	3238,2	356,194	1123,2	4762,594	41400	0,005

4. KESIMPULAN

Hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Metode	Operation Stress (psi)	Allowabel	Ratio (%)
Concrete Weight Coating	6989,86	41400	16,88
Set On Saddle Weight	6853,03	41400	16,56
Geotextile Fabric Weight	6876,12	41400	16,6

sosw sebesar 6853,03 psi, dan (c) gfw sebesar 6876,12 psi.

- Perhitungan total biaya instalasi yang dibutuhkan untuk proyek *pipeline river crossing* untuk metode *concrete weight coating* adalah sebesar Rp. 328.254.888, metode *set on weight* dengan jumlah 50 unit adalah sebesar Rp. 254.169.653, sedangkan untuk *set on weight* dengan jumlah 2 unit adalah sebesar Rp. 223.960.486, dan untuk metode *geotextile fabric weight* adalah sebesar Rp. 222.420.485.

5. DAFTAR NOTASI

Fb_{pipe}	= buoyancy Force (kg/m)
Z	= modulus of section pada pipa (in ³)
W_{total}	= berat total pipa (kg/m)
S_H	= hoop stress (psi)
W_{eff}	= berat efektif pipa (kg/m)
I	= area moment of inertia of pipe (in ⁴)
W_T	= berat total (kg/m)
S_L	= tegangan longitudinal (psi)
W_{conc}	= berat concrete (kg/m)
S_p	= longitudinal pressure stress (psi)
OD_{conc}	= diameter luar concrete (m)
S_b	= bending stress (psi)
ID_{conc}	= diameter dalam concrete (m)
E	= modulus elastisitas (psi)
ρ_{conc}	= massa jenis concrete (kg/m ³)

S_T	= thermal stress (psi)
ρ_{water}	= massa jenis air (kg/m ³)
a	= koefisien ekspansi termal
$\rho_{pemberat}$	= massa jenis pemberat (kg/m ³)
T_1	= temperatur instalasi (°F)
W	= berat pemberat terendam (kg)
T_2	= tempereratur operasi (°F)
TWR	= berat total yang dibutuhkan (kg/m)
M_B	= bending moment (lb.in)
V	= volume pemberat (m ³)
Δ_y	= vertical deflection (in)
D	= diameter luar pipa (in)
D_1	= deflection lag factor (1,0-1,5)
K	=konstanta bending (0,1)
P	= tekanan akibat tanah + pemberat (psi)
R	= radius pipa (in)
E'	= modulus of soil reaction (psi)

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, Donny. 2009. *Pengantar Piping Stress Analysis dengan Caesar II*. Jakarta. Entry Agustino Publisher
- Kannappan, Sam. 1985. *Introduction to Pipe Stress Analysis*. New York. Wiley Publication
- Nayyar, Mohinder L. (1973). *Piping Handbook Seventh Edition*. New York: Mc Graw-Hill.
- Peng, L.C. (1967). *Piping Stress Engineering*. Houston, Texas: Peng Engineering.
- Tijara, Pratama. 2004. *Pelatihan Dasar Analisa Tegangan Pipa menggunakan Software COADE – CAESAR II*. USA. Coade Inc
- Wu, X., Hongfang L., Shijuan W., etc.(2014). *Stress Analysis of the Large Excavation River Crossing Oil Pipeline. Conference Paper.Geotechnical Special Publication. Southwest Petroleum University and Research Institute of Xinjiang Oil Exploration and Design, China.*
- Shrivastava, G.S.(2009). *Fluid Mechanics Aspects of A Buried Natural Gas Pipeline At A River Crossing*. Proceeding of the 11th Pan-American Congress of Applied Mechanics (PACAM). 04-08 January, Foz do Iguacu, PR, Brazil.

8. Connors, G.W.(2004). *The Use of Geotextile Fabric, Anti-Buoyancy Weights for Buried Pipelines*. Proceeding of International Pipeline Conference (IPC). 04-08 October, Calgary, Alberta, Canada.
9. ALA. (2001). *Guidelines for the Design of Buried Pipe*. New York: American Lifelines Alliance.